

KAMIL SZOPA, AGATA ZNAMIROWSKA-PIOTROWSKA

**WPLYW DODATKU GLUKONIANU I CYTRYNIANU MAGNEZU NA
JAKOŚĆ KOZIEGO I KROWIEGO MLEKA FERMENTOWANEGO
PRZEZ *LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS***

Streszczenie

Wprowadzenie. Celem pracy było określenie wpływu dodatku glukonianu i cytrynianu magnezu na właściwości fizykochemiczne, liczbę komórek bakterii oraz cechy organoleptyczne mleka krowiego i koziego fermentowanego przez *Lactobacillus acidophilus*.

Wyniki i wnioski. Fortyfikacja mleka glukonianem i cytrynianem magnezu miała istotny wpływ na kwasowość czynną mleka przed fermentacją. Po dodaniu związków magnezu i repasteryzacji mleka przetworowego nastąpiło obniżenie wartości pH mleka. Wprowadzenie związków magnezu (glukonianu i cytrynianu) nie różnicowało kwasowości czynnej w mleku kozim fermentowanym przez *Lactobacillus acidophilus* LA-5 w 7. dniu przechowywania chłodniczego. Odwrotną zależność wykazano dla fermentowanego mleka krowiego. Na zawartość kwasu mlekowego oprócz zastosowanego związku magnezu wpływ miał również rodzaj użytego mleka. Fermentowane mleko kozie charakteryzowało się wyższą zawartością kwasu mlekowego w porównaniu z krowim mlekiem fermentowanym. Dodatek glukonianu i cytrynianu magnezu zwiększył poziom synerезy probiotycznego mleka fermentowanego. Najwyższą synerезę wykazano w mleku kozim z cytrynianem magnezu. Wzbogacenie mleka glukonianem magnezu istotnie kształtowało parametry barwy otrzymanego mleka fermentowanego, które cechowało się ciemniejszą barwą. We wszystkich grupach mleko cechowało się udziałem barwy żółtej i zielonej, jednak poziom ich natężenia był znacząco zróżnicowany w zależności od rodzaju mleka i zastosowanego związku magnezu. W mleku fermentowanym kozim i krowim stwierdzono liczbę komórek *Lactobacillus acidophilus* LA-5 powyżej $8 \log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$, co oznacza, że otrzymane mleko fermentowane spełnia kryterium pozwalające zaliczyć je do produktów probiotycznych.

Słowa kluczowe: mleko fermentowane, *Lactobacillus acidophilus*, glukonian magnezu, cytrynian magnezu, mleko kozie, mleko krowie

Wprowadzenie

Fermentowane produkty mleczne często stanowią nośnik probiotyków i mogą poprawiać zdrowie ludzi [10]. Wśród żywności funkcjonalnej produkty na bazie mleka

*Mgr inż. K. Szopa ORCID: 0000-0003-4527-7778, dr hab. inż. prof. UR A. Znamirowska-Piotrowska ORCID: 0000-0001-6064-2951, Zakład Technologii Mleczarstwa, Instytut Technologii Żywności i Żywnienia, Uniwersytet Rzeszowski; ul. Ćwiklińskiej 2D, 35-601 Rzeszów.
Kontakt: e-mail: kamilsz@dokt.ur.edu.pl*

stanowią prawie 43 % [17]. Spożywanie żywności zawierającej około 10^8 do 10^9 jtk·g⁻¹ mikroorganizmów probiotycznych dziennie zapewnia konsumentowi działanie terapeutyczne [28]. Zainteresowanie konsumentów mlekiem kozim i produktami pochodnymi związane jest głównie z jego lepszą strawnością, a także wiąże się z mniejszą alergenością w porównaniu z mlekiem krowim [26]. Jednak produkcja wyrobów fermentowanych z mleka koziego napotyka na problem uzyskania odpowiedniej konsystencji skrzepu w fermentowanym mleku, co może być wynikiem małej pojemności buforowej mleka koziego i niskiej zawartości lub braku frakcji kazeiny α_{s1} [3, 26]. Wzbogacanie mleka w składniki mineralne może przyczynić się do uzyskania bardziej zwarte go skrzepu w fermentowanym mleku kozim [16]. Do fortyfikacji mleka stosuje się wiele związków magnezu, zarówno w formie nieorganicznej (chlorek, siarczan, węglan), jak i organicznej (askorbinian, asparaginian, cytrynian, glukonian, mleczan). Nieorganiczne związki magnezu są znacznie mniej przyswajalne przez organizm ludzki w porównaniu z ich formami organicznymi [26]. Magnez jest niezbędnym składnikiem mineralnym biorącym udział w reakcjach enzymatycznych. Jako aktywator enzymatyczny jest niezbędny dla różnych funkcji fizjologicznych, takich jak cykl komórkowy, regulacja metaboliczna, skurcz mięśni i napięcie naczynioruchowe [21]. Uczestniczy w wielu funkcjach fizjologicznych i metabolicznych, takich jak transport jonów potasu lub jonów wapnia, glikoliza, cykl przemian kwasów i beta-oksydacja kwasów tłuszczowych. Odgrywa znaczącą rolę w syntezie związków wysokoenergetycznych, a także odpowiada za stabilizację chromosomów oraz helisy kwasu DNA [7, 20]. Może hamować uwalnianie acetylocholiny z neuronów ruchowych, blokować przewodnictwo nerwowo-mięśniowe i rozluźniać mięśnie szkieletowe [8]. Magnez ma również działanie przeciwzapalne, przeciwutleniające, przeciwskurczowe, przeciwzkrzepowe oraz neuroprotektoryjne [1, 2, 5, 22].

Dzienne zapotrzebowanie na magnez uzależnione jest od płci, wieku, aktywności fizycznej oraz stanu fizjologicznego organizmu i wynosi 300 ÷ 400 mg na dobę [23, 26]. Otrzymanie produktów z mleka koziego w połączeniu z probiotycznymi szczepami bakteryjnymi i organicznymi solami magnezu mogłyby przyczynić się do uzupełnienia niedoborów pokarmowych oraz zapewnić korzyści zdrowotne [16, 26].

Celem pracy było określenie wpływu dodatku glukonianu i cytrynianu magnezu na jakość mleka fermentowanego przez *Lactobacillus acidophilus* LA-5. Mleko fermentowane poddano analizie fizykochemicznej i mikrobiologicznej oraz ocenie sensorycznej po 7 dniach przechowywania w temperaturze chłodniczej.

Material i metody badań

Surowcem do produkcji probiotycznego mleka fermentowanego było półtłuste mleko kozie UHT o zawartości tłuszczu 1,60 % (Candia, Francja) oraz mleko krowie pasteryzowane, mikrofiltrowane, o zawartości tłuszczu 2,00 % (Mlepol, Polska). Jako

dodatki zastosowano dwa rodzaje związków magnezu: glukonian magnezu (Sigma-Aldrich, USA) oraz cytrynian magnezu (Bioskamed, Polska) w dawce 30 mg Mg/100 g mleka. Do fermentacji mleka zastosowano kultury starterowe *Lactobacillus acidophilus* LA-5 (Chr. Hansen, Dania).

Mleko krowie i kozie podzielono w zależności od zastosowanego związku magnezu (Tabela 1). Pierwszą grupę stanowiło mleko kontrolne bez dodatku związków magnezu (GK, KK). Drugą grupę stanowiły mleka z dodatkiem glukonianu magnezu w ilości 30 mg Mg/100 g mleka (GG, KG). Trzecią grupę stanowiło mleko fortyfikowane cytrynianem magnezu w ilości 30 mg Mg/100 g mleka (GC, KC). Przygotowane mleko podgrzano do 60 °C, homogenizowano przy 20 MPa (CAT UNIDRIVE X 1000 D, Ballrechten-Dottingen, Niemcy) i repasteryzowano zgodnie z metodą Ramasubramanian i wsp. [14] ze zmianami (85 °C, 10 min). Po obróbce cieplnej próbki mleka schładzano do temperatury 40 ± 1 °C. Dodano 5 % inoculum z *Lactobacillus acidophilus* LA-5 (9,5 log jtk·g⁻¹), przygotowanego zgodnie z metodą Szajnar i wsp. [18], dokładnie wymieszano, przelano do plastikowych pojemników o pojemności 100 cm³ i poddano fermentacji w inkubatorze w temperaturze 37 ± 1 °C przez 10 godzin. Otrzymano w sumie 6 partii fermentowanego mleka, zgodnie z tabelą 1. Po tym czasie fermentowane mleko schładzano do 5 °C (ILW 115 Refrigerated Incubator, POL-EKO Aparatura, Wodzisław Śląski, Polska) i przechowywano w tej temperaturze przez 7 dni. Wyprodukowano dla każdej grupy 5 próbek w 3 powtórzeniach (n = 15 dla każdej grupy). Łącznie n = 90. Próbkę do analiz pobierano po 7 dniach chłodniczego przechowywania.

Tabela 1. Grupy doświadczalne

Table1. Experimental groups

Rodzaj mleka / Type of milk	Grupa / Groups		
	Kontrolna / Control	z glukonian magnezu / with magnesium gluconate (30 mg Mg/100g)	z cytrynian magnezu / with magnesium citrate (30 mg Mg/100g)
Mleko kozie / Goat's milk	GK	GG	GC
Mleko krowie / Cow's milk	KK	KG	KC

Kwasowość czynną mierzono pH-metrem Toledo FiveEasy TM (Mettler Toledo, Greifensee, Szwajcaria) z użyciem elektrody InLab® Solids Pro-ISM (Mettler Toledo, Greifensee, Szwajcaria) [26]. Zawartość kwasu mlekowego oznaczono zgodnie z wytycznymi Znamirowskiej i wsp. [24], a wynik wyrażono w gramach kwasu mlekowego na litr. Synerezę określono metodą wirówkową (wirówka LMC-4200R Biosan SIA, Ryga, Łotwa) według Znamirowskiej i wsp. [27].

Barwę określono za pomocą kolorymetru (Precision Colorimeter, Model NR 145, Shenzhen, Chiny) stosując system CIE L*a*b* [17]. Wyznaczono następujące parametry: L* - jako jasność (od 0 – czarny do 100 – biały), a* – jako kolor od czerwonego (+) do zielonego (-), b* – jako kolor od żółtego (+) do niebieskiego (-), C – jako czystość i intensywność koloru oraz h^0 – jako odcień koloru [19].

Liczbę komórek bakterii *Lactobacillus acidophilus* LA-5, określono metodą płytkową na agarze MRS według metody Znamirowskiej i wsp. [27] oraz Limy i wsp. [9]. Inkubację prowadzono w warunkach beztlenowych w temperaturze 37 °C przez 72 godziny. Liczbę żywych komórek bakterii wyrażono jako $\log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$.

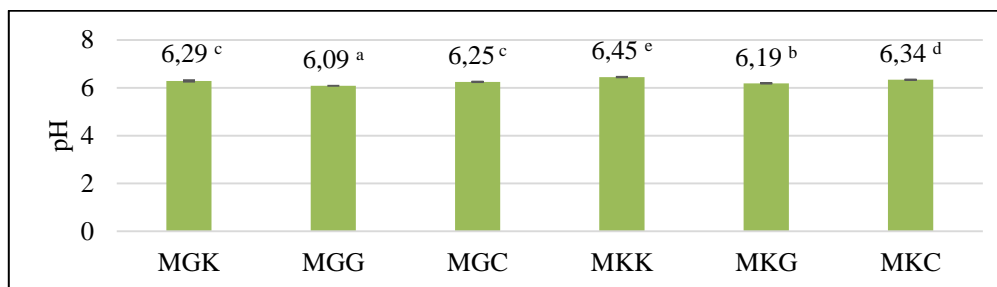
Analizę sensoryczną metodą profilowania przeprowadził przeszkolony zespół (20 oceniających) [4, 27]. Próbkę mleka fermentowanego oceniano w skali 9-stopniowej (od 1 = niewykrywalne do 9 = bardzo intensywne). Oceniono następujące cechy: smak mleczno-kremowy, smak kwaśny, smak słodki, smaki dodatków (gorzki, metaliczny) oraz obecność zapachu kwaśnego, zapachu dodatków i zapach obcy.

Z uzyskanych wyników obliczono średnią oraz odchylenie standardowe za pomocą programu Statistica v. 13.1 (StatSoft, Tulsa, Oklahoma, USA). Przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji, a istotność różnic między średnimi oszacowano testem Tukeya ($p \leq 0,05$).

Wyniki i dyskusja

Na wykresie 1. przedstawiono kwasowość czynną (pH) mleka po pasteryzacji z dodatkiem związków magnezu i kontrolnego. Fortyfikacja mleka koziego i krowiego glukonianem (MGG, MKG) spowodowała obniżenie wartości pH odpowiednio o 0,2 i 0,26 w porównaniu do prób kontrolnych. Dla mleka kontrolnego koziego i krowiego (MGK, MKK) wartość pH wynosiła odpowiednio 6,29 i 6,45, a z dodatkiem glukonianu – 6,09 i 6,19. Podobne wskaźniki obserwowano przy zastosowaniu w obu mlekach cytrynianu (MGC, MKC), przy czym tylko w przypadku mleka krowiego różnice były istotne.

Również w innych badaniach [26] stwierdzono obniżenie kwasowości czynnej mleka koziego po pasteryzacji wzbogaconego w związki magnezu. Podobnie jak w naszych badaniach wykazano, że cytrynian magnezu w najmniejszym stopniu zakwaszał mleko. Różnice w zdolności obniżania wartości pH mleka przypisano różnej rozpuszczalności związków magnezu w wodzie. Cytrynian magnezu należy do słabo rozpuszczalnych i dlatego nie powodował tak dużego obniżenia wartości pH [26].



Ryc. 1. Wpływ dodatku związków magnezu na kwasowość koziego i krowiego mleka pasteryzowanego.
Fig. 1. The effect of the addition of magnesium compounds on the acidity of pasteurized goat's and cow's milk.

Objaśnienia / Explanatory notes:

n = 15 dla każdej grupy, łącznie n = 90; ^{a-e} – wartości średnie oznaczone różnymi małymi literami wskazują istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$ w zależności od rodzaju związku magnezu i rodzaju mleka; MGK: mleko kozie kontrolne; MGG: mleko kozie z glukonianem magnezu; MGC: mleko kozie z cytrynianem magnezu; MKK: mleko krowie kontrolne; MKG: mleko krowie z glukonianem magnezu; MKC: mleko krowie z cytrynianem magnezu

n = 15 for each group, total n = 90; ^{a-e} – mean values denoted by different letters differ statistically significantly at $p \leq 0,05$ depending on the type of magnesium compound and the type of milk; MGK: control goat's milk; MGG: goat's milk with magnesium gluconate; MGC: goat's milk with magnesium citrate; MKK: control cow's milk; MKG: cow's milk with magnesium gluconate; MKC: cow's milk with magnesium citrate.

W tabeli 2. przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu dodatku związków magnezu na właściwości fizykochemiczne koziego i krowiego mleka fermentowanego. Po 7 dniach chłodniczego przechowywania niższą wartość pH stwierdzono w fermentowanym mleku kozim niż krowim i różnice te były statystycznie istotne ($p \leq 0,05$). W grupie kontrolnej fermentowane mleko kozie miało o 0,07 niższą wartość pH w porównaniu z mlekiem krowim ($p \leq 0,05$). Według doniesień [26] szybsze zmiany wartości pH w mleku kozim wynikają głównie z mniejszej zawartości kazeiny, podczas gdy β -kazeina jest najmniej fosforylowana. Również wyższa zawartość azotu niebiałkowego, wyższe stężenie witamin, większa zawartość niektórych składników mineralnych i krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych oraz łatwiejsza strawność białka w mleku kozim w porównaniu do mleka krowiego mogą wpływać na szybszy wzrost kwasowości. Dodatek glukonianu magnezu, jak i cytrynianu nie wpłynął istotnie na wartość pH koziego mleka fermentowanego. Odwrotną zależność zaobserwowano w mleku fermentowanym krowim, gdzie mleko z dodatkiem glukonianu magnezu charakteryzowało się najwyższym pH, a mleko kontrolne – najniższym i wykazane różnice były statystycznie istotne. Natomiast dodatek cytrynianu nie wpłynął istotnie na wartość pH fermentowanego mleka krowiego.

Tabela 2. Wpływ dodatku związków magnezu na właściwości koziego i krowiego mleka fermentowanego po 7 dniach chłodniczego przechowywania

Table 2. The effect of the addition of magnesium compounds on the properties of fermented goat's and cow's milk after 7 days of cold storage

Właściwości / Properties	GK	GG	GC	KK	KG	KC
pH / pH values	4,06 ^a ± 0,03	4,04 ^a ± 0,02	4,03 ^a ± 0,02	4,13 ^b ± 0,05	4,56 ^c ± 0,13	4,19 ^b ± 0,05
Kwas mlekowy / Lactic acid [g L ⁻¹]	0,98 ^c ± 0,03	1,05 ^d ± 0,02	1,13 ^e ± 0,02	0,73 ^b ± 0,02	0,64 ^a ± 0,03	0,70 ^b ± 0,04
Synereza / Syneresis [%]	47,75 ^c ± 3,45	51,10 ^d ± 2,06	71,20 ^f ± 0,94	30,26 ^a ± 1,85	59,07 ^e ± 1,72	36,26 ^b ± 2,60
L	86,70 ^{bc} ± 3,72	81,31 ^b ± 5,55	92,00 ^d ± 1,81	88,39 ^c ± 2,34	73,54 ^a ± 1,78	88,04 ^c ± 3,09
a*	-1,59 ^d ± 0,19	-1,96 ^c ± 0,15	-1,45 ^d ± 0,07	-2,44 ^b ± 0,25	-4,60 ^a ± 0,20	-2,82 ^b ± 0,55
b*	7,87 ^c ± 1,17	8,89 ^c ± 1,39	6,61 ^b ± 0,28	7,67 ^c ± 1,04	4,14 ^a ± 0,39	7,05 ^{bc} ± 0,81
C	7,96 ^b ± 1,20	9,04 ^b ± 1,40	6,77 ^a ± 0,27	8,04 ^b ± 1,02	6,20 ^a ± 0,33	7,60 ^b ± 0,91
h ⁰	101,94 ^a ± 2,22	102,75 ^a ± 2,15	102,41 ^a ± 1,02	107,81 ^b ± 2,34	127,93 ^c ± 3,19	111,88 ^b ± 2,89

Objaśnienia / Explanatory notes:

Wartości średnie ± odchylenie standardowe; n = 15 dla każdej grupy, łącznie n = 90; ^{a-f} – wartości średnie oznaczone różnymi małymi literami wskazują istotnie statystycznie przy p ≤ 0,05 w zależności od rodzaju związku magnezu i rodzaju mleka

Mean values ± standard deviations; n = 15 for each group, total n = 90; ^{a-f} – mean values denoted by different letters differ statistically significantly at p ≤ 0,05 depending on the type of magnesium compound and the type of milk.

Zgodnie z oczekiwaniem niższą zawartość kwasu mlekowego stwierdzono w fermentowanym mleku krowim niż kozim, a różnice były statystycznie istotne. W fermentowanym mleku krowim z dodatkiem glukonianu magnezu wykazano niższą zawartość kwasu mlekowego w porównaniu z próbą kontrolną i z dodatkiem cytrynianu ($p \leq 0,05$). Natomiast odwrotną zależność stwierdzono w fermentowanym mleku kozim, gdzie w mleku z dodatkiem związków magnezu oznaczono istotnie wyższą zawartość kwasu mlekowego ($p \leq 0,05$). W badaniach Szajnar i wsp. [15] rodzaj wprowadzonego do mleka krowiego związku magnezu nie różnicował istotnie wartości pH i zawartości kwasu mlekowego.

Wzbogacenie mleka związkami magnezu istotnie zwiększyło synerezę w krowim i kozim mleku fermentowanym (Tabela 2). Dodatek glukonianu magnezu zwiększył o 3,35 % synerezę w fermentowanym mleku kozim i o 28,81 % w fermentowanym mleku krowim. Natomiast dodatek cytrynianu spowodował wzrost podcieku serwatki o 23,45 % w fermentowanym mleku kozim i o 6,0 % w fermentowanym mleku kro-

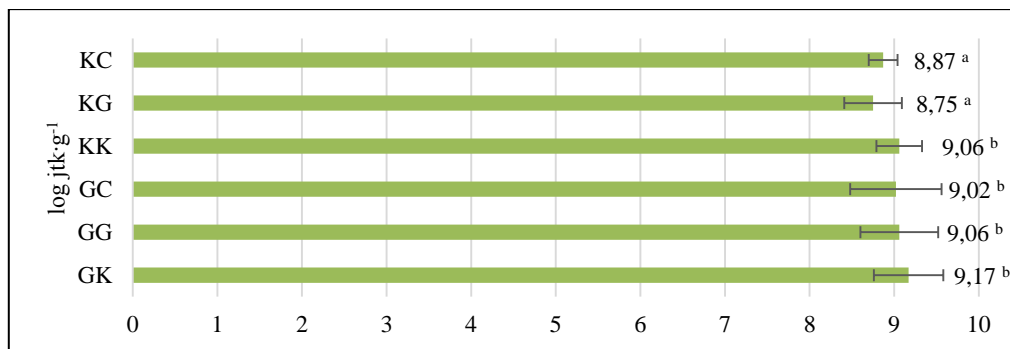
wim. W innych badaniach [26] fortyfikacja cytrynianem magnezu w ilości 30 mg na 100 g mleka koziego również spowodowała zwiększenie poziomu synerezy w otrzymanym mleku fermentowanym. Wzrost ten wyniósł około 11 %. Odmienne wyniki odnotowały natomiast Szajnar i wsp. [15] wnioskując, że dodatek D-glukonianu magnezu do mleka krowiego obniżył podatność jogurtów na wydzielanie serwatki o ok. 20 %. Synereza jest znacząco uzależniona od rodzaju kultury starterowej stosowanej do fermentacji mleka ze względu na wytwarzane metabolity, w tym egzopolisacharydy, które mają zdolność wiązania wody wolnej i modyfikacji żelu jogurtowego podczas procesu koagulacji [6]. W badaniach Szajnar i wsp. [15] właściwość tę przypisano zdolności produkcji egzopolisacharydów (EPS) przez zastosowane do fermentacji bakterie probiotyczne. Dodatkowo proces separacji serwatki związany jest ze zwartością i stabilnością sieci białkowej oraz innymi czynnikami, takimi jak rodzaj mleka, wysoka kwasowość, rodzaj i intensywność obróbki cieplnej, czas przechowywania, rodzaj dodatków i stosowane stabilizatory [6].

Kolor jest podstawowym atrybutem żywności i jest pierwszym atrybutem postrzeganym przez konsumentów, służącym jako czynnik wyboru konsumenta [19]. W tabeli 2. zamieszczono wyniki instrumentalnego pomiaru barwy koziego i krowiego mleka fermentowanego. Najjaśniejszą barwę (parametr L) stwierdzono w kozim mleku fermentowanym wzbogaconym cytrynianem magnezu. Mleko kozie i krowie wzbogacone w glukonian magnezu cechowało się ciemniejszą barwą. Wszystkie grupy fermentowanego mleka charakteryzowały się barwą żółto-zieloną (parametr b^* i a^*), jednak poziom udziału poszczególnych barw był zróżnicowany w zależności od rodzaju mleka i zastosowanego związku magnezu. Dodatek glukonianu magnezu istotnie zwiększył udział koloru żółtego ($+b^*$) i zielonego ($-a^*$) w kozim mleku fermentowanym. Natomiast w krowim zwiększył intensywność koloru zielonego ($-a^*$), ale zmniejszył – żółtego ($+b^*$). Z kolei dodatek cytrynianu istotnie zmniejszył udział barwy żółtej ($+b^*$) i zielonej ($-a^*$) w kozim mleku, a w mleku krowim różnice te nie były istotne. Otrzymane przez Moschopoulou i wsp. [11] jogurty z mleka koziego także charakteryzowały się żółto-zieloną barwą. Jak podają Nozière i wsp. [13], parametr L^* mleka koziego zależy od dyspersji miceli kazeiny i drobinek tłuszczu, które wpływają na rozpraszanie padającego światła. Z kolei parametry a^* i b^* zależą od naturalnego stężenia barwników w mleku kozim [12]. Szajnar i wsp. [15] odnotowały, że glukonian magnezu nie wpłynął znacząco na jasność barwy, jednak spowodował obniżenie intensywności zieleni i żółci w otrzymanym jogurcie z mleka krowiego.

Pozostałe składowe barwy: czystość i intensywność koloru oraz odcień koloru (C i h^0) w dużym stopniu były zależne od rodzaju zastosowanego mleka i mieściły się w zakresie dla C od 6,20 do 9,04, dla h^0 od 101,94 do 127,93. Największe nasycenie (C) opisujące czystość barwy odnotowano w fermentowanym mleku kozim wzbogaconym glukonianem, a najmniejsze – w mleku krowim wzbogaconym tym samym

związkiem. W przypadku fermentowanego mleka krowiego dodatek glukonianu magnezu obniżył wartość nasycenia barwy (C) o 1,84 w porównaniu z jego odpowiednikiem kontrolnym i różnice te były istotne. Ostatnią analizowaną składową barwy jest h^* – odcień lub kąt barwy. We wszystkich grupach mleka fermentowanego kąt barwy był wyższy niż 100. Najwyższą wartość odcień h^* przyjął dla fermentowanego mleka krowiego z glukonianem, a istotnie niższą – dla kontrolnego i z cytrynianem ($p \leq 0,05$). Fermentowane mleka krowie cechowały się również wyższymi wartościami parametru h^* w porównaniu z fermentowanymi mlekami kozimi, a różnice były istotne statystyczne ($p \leq 0,05$).

Zgodnie z danymi przedstawionymi na wykresie 2., największą liczbę komórek bakterii stwierdzono po 7 dniach przechowywania w fermentowanym mleku kontrolnym kozim i krowim. Fortyfikacja mleka krowiego zarówno glukonianem, jak i cytrynianem magnezu skutkowała obniżeniem liczby komórek *Lactobacillus acidophilus* i różnice te były istotne. Natomiast w mleku kozim nie stwierdzono wpływu fortyfikacji na liczbę komórek tego probiotyku. Ostatecznie jednak we wszystkich grupach fermentowanego mleka liczebność szczepu przekraczała $8 \log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$. Oznacza to, że otrzymane mleko fermentowane spełniło kryterium terapeutyczne pozwalające zaliczyć je do produktów probiotycznych. Zgodnie z zaleceniami International Dairy Federation minimalna liczba żywych komórek probiotycznych w produkcie powinna wynosić nie mniej niż $7 \log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ pod koniec okresu przydatności do spożycia.



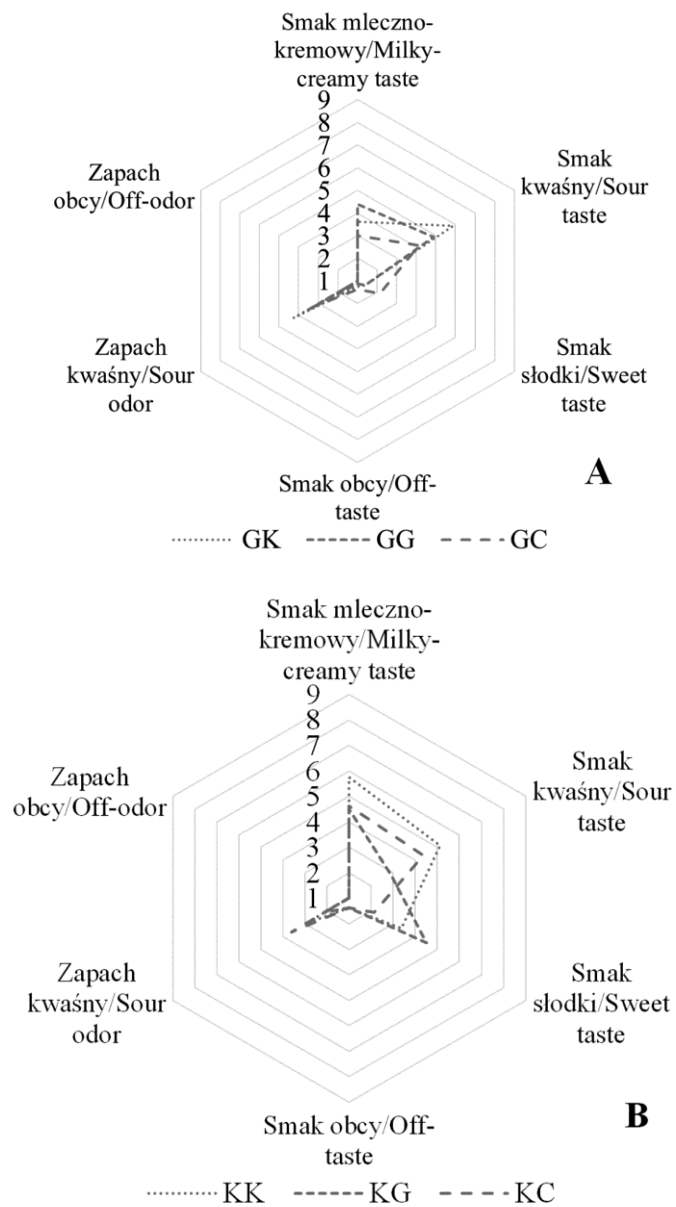
Ryc. 2. Liczba komórek *Lactobacillus acidophilus* ($\log \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$).

Fig. 2. Number of *Lactobacillus acidophilus* cells ($\log \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$).

Objaśnienia / Explanatory notes:

Wartości średnie \pm odchylenie standardowe; $n = 15$ dla każdej grupy, łącznie $n = 90$; ^{a-b} – wartości średnie oznaczone różnymi małymi literami wskazują istotnie statystycznie przy $p \leq 0,05$ w zależności od rodzaju związku magnezu i rodzaju mleka / Mean values \pm standard deviations; $n = 15$ for each group, total $n = 90$; ^{a-b} – mean values denoted by different letters differ statistically significantly at $p \leq 0,05$ depending on the type of magnesium compound and the type of milk.

Spożywanie żywności zawierającej od 8 do 9 log jtk·g⁻¹ mikroorganizmów probiotycznych dziennie zapewnia konsumentowi korzyści zdrowotne [25, 28].



Ryc. 3. Cechy sensoryczne mleka fermentowanego z glukonianem i cytrynianem magnezu: A – mleko fermentowane kozie; B – mleko fermentowane krowie

Fig. 3. Organoleptic characteristics of fermented milk with magnesium gluconate and magnesium citrate: A – goat's fermented milk; B – cow's fermented milk

Jednym z kryteriów wyboru szczepów bakterii do fermentacji mleka oraz stosowanych dodatków jest brak ich negatywnego wpływu na jakość sensoryczną. Wykres 3. przedstawia wyniki oceny sensorycznej mleka fermentowanego przeprowadzonej po 7 dniach chłodniczego przechowywania. Fortyfikacja fermentowanego mleka koziego związkami magnezu (glukonianem lub cytrynianem) istotnie zmniejszyła intensywność smaku i zapachu kwaśnego w porównaniu do mleka kontrolnego ($p \leq 0,05$). Ponadto w fermentowanym mleku kozim cytrynian istotnie intensyfikował smak słodki, a glukonian zwiększał intensywność smaku mleczno-kremowego ($p \leq 0,05$). Zastosowane związki magnezu do fortyfikacji mleka krowiego spowodowały obniżenie intensywności smaku mleczno-kremowego oraz istotnie zmniejszyły odczucie smaku kwaśnego. Ponadto dodatek glukonianu do mleka krowiego skutkowało zwiększeniem intensywności smaku słodkiego ($p \leq 0,05$). Dodatek związków magnezu do mleka krowiego i koziego nie spowodował odczucia zapachu i smaku obcego, co jest bardzo istotną informacją dla potencjalnych producentów. Według Szajnar i wsp. [15] na właściwości wzbogaconych produktów mlecznych ma wpływ zarówno rodzaj, jak i dawka dodanego związku mineralnego.

Wnioski

1. Glukonian i cytrynian magnezu mogą być stosowane do produkcji probiotycznego mleka koziego i krowiego.
2. Fortyfikacja mleka koziego i krowiego związkami magnezu istotnie obniżyła intensywność smaku kwaśnego, co może zapobiegać przekwaszaniu mleka probiotycznego podczas przechowywania. Związki użyte do fortyfikacji nie dają smaku i zapachu obcego w fermentowanym mleku probiotycznym.
3. Dodatek związków magnezu (glukonianu i cytrynianu) do mleka koziego nie powodował obniżenia liczby komórek *Lactobacillus acidophilus* LA-5 w 7. dniu przechowywania. Dodatek ten do mleka krowiego powodował natomiast istotną redukcję populacji tego szczepu.
4. Dodatek glukonianu istotnie obniżył jasność oraz zwiększył udział barwy zielonej w obu rodzajach mleka fermentowanego. Natomiast dodatek cytrynianu nie powodował pociemnienia barwy.
5. W produkcji mleka fermentowanego koziego i krowiego z dodatkiem związków magnezu należy zastosować dodatkowe składniki ograniczające synerezę.

Literatura

- [1] Abiri B., Vafa M.: Effects of vitamin D and/or magnesium supplementation on mood, serum levels of BDNF, inflammatory biomarkers, and sirt1 in obese women: a study protocol for a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. *Trials*, 2020, 21, #225.

- [2] Bachnas M.A., Akbar M.I.A., Dachlan E.G., Dekker G.: The role of magnesium sulfate (MgSO₄) in fetal neuroprotection. *J. Matern. Fetal Neonatal Med.*, 2021, 34 (6) 966-978.
- [3] Barac M., Pesic M., Zilic S., Smiljanic M., Sredovic; Ignjatovic I., Vucic T., Kostic A., Milincic D.: The Influence of Milk Type on the Proteolysis and Antioxidant Capacity of White-Brined Cheese Manufactured from High-Heat-Treated Milk Pretreated with Chymosin. *Foods*, 2019, 8 (128), 1-14.
- [4] Barylko-Pikielna N., Matuszewska I.: Sensoryczne badania żywności. Podstawy. Metody. Zastosowania. Wyd. II. Wyd. Nauk. PTTŻ, Kraków 2014.
- [5] Güzel A., Doğan E., Türkçü G., Kuyumcu M.: Dexmedetomidine and magnesium sulfate: a good combination treatment for acute lung injury? *J. Invest. Surg.*, 2019, 32, 331-342.
- [6] Khorshidi M., Heshmati A., Taheri M., Karami M., Mahjub R.: Effect of whey protein- and xanthan-based coating on the viability of microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* and physicochemical, textural, and sensorial properties of yogurt. *Food Sci. Nutr.*, 2021, 9, 3942-3953.
- [7] Komiya Y., Rannels L.W.: TRPM channels and magnesium in early embryonic development. *Int. J. Dev. Biol.*, 2015, 59, 281-288.
- [8] Krepala C., Luangphiphat W., Villarreal A., Piyajarawong T.: Effect of magnesium on glomerular filtration rate and recovery of hypertension in women with severe preeclampsia. *Nephron*, 2018, 138, 35-41.
- [9] Lima K.G.D., Kruger, M.F., Behrens J., Destro M.T., Landgraf M., Franco B.D.G.M.: Evaluation of culture media for enumeration of *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* and *Bifidobacterium animalis* in the presence of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*. *LWT- Food Sci. Technol.*, 2009, 42, 491-495.
- [10] Liszkowska W., Berłowska J.: Yeast fermentation at low temperatures: Adaptation to changing environmental conditions and formation of volatile compounds. *Molecules*, 2021, 26, #1035.
- [11] Moschopoulou, E.; Sakkas, L.; Zoidou, E.; Theodorou, G.; Sgouridou, E.; Kalathaki, C.; Moatsou, G.; Chatzigeorgiou, A.; Politis, I.; Moatsou, G. Effect of milk kind and storage on the biochemical, textural and biofunctional characteristics of milk yoghurt. *Int. Dairy J.*, 2018, 77, 47-55.
- [12] Muelas, R.; Monllor, P.; Romero, G.; Sayas-Barbera, E.; Navarro, C.; Diaz, J.R.; Sendra, E. Milk technological properties as affected by including artichoke by-products silages in the diet of dairy goats. *Foods*, 2017, 6 (12), #112.
- [13] Nozière, P.; Graulet, B.; Lucas, A.; Martin, B.; Grolier, P.; Doreau, M. Carotenoids for ruminants: from forages to dairy products. *Animal Feed Sci. Technol.*, 2006, 131, 418-450.
- [14] Ramasubramanian L., Webb R., Arcy R.B., Deeth H.: Characteristic of calcium-milk coagulum. *J. Food Eng.*, 2013, 114, 705, 147-152.
- [15] Szajnar K., Znamirowska A., Kalicka D. Effects of various magnesium salts for the production of milk fermented by *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* Bb-12. *Int. J. Food Prop.*, 2019, 22, 1, 1087-1099.
- [16] Szajnar K., Znamirowska A., Kalicka D., Kuźniar P.: Fortification of yoghurts with various magnesium compounds. *J. Elem.*, 2017, 22, 559-568.
- [17] Szajnar K., Znamirowska A., Kuźniar P.: Sensory and textural properties of fermented milk with viability of *Lactobacillus rhamnosus* and *Bifidobacterium animalis* ssp. *lactis* Bb-12 and increased calcium concentration. *Int. J. Food Prop.*, 2020, 23, 582-598.
- [18] Szajnar, K.; Pawlos, M.; Znamirowska, A. The Effect of the Addition of Chokeberry Fiber on the Quality of Sheep's Milk Fermented by *Lactobacillus rhamnosus* and *Lact. acidophilus*. *Int. J. Food Sci.* 2021, #7928745.
- [19] Szopa K., Znamirowska-Piotrowska A., Szajnar K., Pawlos M.: Effect of Collagen Types, Bacterial Strains and Storage 699 Duration on the Quality of Probiotic Fermented Sheep's Milk. *Molecules*, 2022, 27, #3028.

- [20] Szymczyk H.: Magnez-pierwiastek niezbędny do prawidłowego funkcjonowania organizmu. *Farmacja Współczesna*, 2016, 9, 217-223.
- [21] Tang Ch.F., Ding H., Jiao R.Q., Wu X., Kong L.D.: Possibility of magnesium supplementation for supportive treatment in patients with COVID-19. *Eur. J. Pharmacol.*, 2020, 886, 173-543.
- [22] Wang Y., Zhang X., Han Y., Yan F., Wu R.: Efficacy of combined medication of nifedipine and magnesium sulfate on gestational hypertension and the effect on PAPP-A, VEGF, NO, Hcy and vWF. *Saudi J. Biol. Sci.*, 2019, 26, 2043-2047.
- [23] Wojtasik A., Woźniak A., Stoś K., Jarosz M.: Składniki mineralne. W: Normy żywienia dla populacji Polski i ich zastosowanie. (red. Jarosza M., Rychlik E., Stoś K., Charzewska J.). Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego-Państwowy Zakład Higieny, Warszawa, 2020, 273-316.
- [24] Znamirowska A., Buniowska M., Szajnar K. Zastosowanie koncentratu i izolatu białek serwatkowych do produkcji mleka fermentowanego przez *Bifidobacterium animalis ssp. lactis Bb-12*. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2019, 26, 4(121), 77-88.
- [25] Znamirowska A., Szajnar K., Pawlos M.: Effect of Vitamin C Source on Its Stability during Storage and the Properties of Milk Fermented by *Lactobacillus rhamnosus*. *Molecules*, 2021, 26, #6187.
- [26] Znamirowska A., Szajnar K., Pawlos M.: Organic magnesium salts fortification in fermented goat's milk. *Int. J. Food Prop.*, 2019, 22, 1615-1625.
- [27] Znamirowska, A.; Szajnar, K.; Pawlos, M. Probiotic Fermented Milk with Collagen. *Dairy*, 2020, 1, 126-134.
- [28] Zommiti, M.; Feuilleley, M.G.J.; Connil, N. Update of Probiotics in Human World: A nonstop source of benefactions till the end 595 of time. *Microorganisms*, 2020, 8, #1907.

**THE EFFECT OF THE ADDITION OF MAGNESIUM GLUCONATE AND
MAGNESIUM CITRATE ON THE QUALITY OF GOAT'S AND COW'S MILK
FERMENTED BY *LACTOBACILLUS ACIDOPHILUS***

S u m m a r y

Background. The aim of the study was to determine the effect of the addition of magnesium gluconate and citrate on the physicochemical properties, the number of bacterial cells and the organoleptic properties of cow's and goat's milk fermented by *Lactobacillus acidophilus*.

Results and conclusions. The fortification of milk with magnesium gluconate and citrate had a significant effect on the active acidity of milk before fermentation. After the addition of magnesium compounds and repasteurization of processed milk, the pH value of the milk decreased. The addition of magnesium compounds (gluconate and citrate) did not differentiate active acidity in the goat's milk fermented by *Lactobacillus acidophilus* LA-5 on the 7th day of cold storage. The opposite relationship was shown for the fermented cow's milk. The content of lactic acid, apart from the magnesium compound used, was also affected by the type of milk used. The fermented goat's milk was characterized by a higher content of lactic acid compared to the fermented cow's milk. The addition of gluconate and magnesium citrate increased the syneresis level of probiotic fermented milk. The highest syneresis was shown in the goat's milk with magnesium citrate. Enriching milk with magnesium gluconate significantly shaped the color parameters of the resulting fermented milk, which was characterized by a darker color. In all groups, the milk was characterized by the share of yellow and green colors. However, the level of their intensity was significantly different, depending on the type of milk and the magnesium compound used. In the fermented goat's and cow's milk, the number of *Lactobacillus acidophilus* LA-5 cells above $8 \log \text{CFU} \cdot \text{g}^{-1}$ was

found, which means that the resulting fermented milk meets the criterion for classifying it as a probiotic product.

Key words: fermented milk, *Lactobacillus acidophilus*, magnesium gluconate, magnesium citrate, goat's milk, cow's milk 